

平衡ケーブルの誘導雷サージ特性と通信機器の雷サージ試験法に関する研究

著者	古賀 廣昭
号	975
発行年	1987
URL	http://hdl.handle.net/10097/11924

氏 名 古 賀 廣 昭

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 63 年 3 月 11 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 45 年 3 月

鹿児島大学大学院工学研究科電気工学専攻
修士課程修了

学 位 論 文 題 目 平衡ケーブルの誘導雷サージ特性と通信機器の雷サージ試験法に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 高木 相 東北大学教授 重井 芳治
東北大学教授 安達 三郎 東北大学助教授 後藤 幸弘

論 文 内 容 要 旨

通信網の発達に伴って通信網の高信頼化・安定化技術が重要となり、特に最近通信機器に IC や S I を大量に使用したり、装置の小型化が進んでいるために雷・静電気・電力線・開閉サージなどによって発生する過電圧からの被害が生じている。この中でも最大の過電圧を発生する落雷による雷サージからの機器の防護技術は特に電力設備に於て 1920 年代ころから頻繁に研究され始め、雷放電発生現象の解明や雷放電によって生じる空間の電界、直撃雷の特性などの観測が数多く実施された。

一方、無線中継所の雷防護や P C M 用中継器の雷防護等の一部の検討を除けば通信網の雷防護技術については経験的な対策法が一、二実施されている程度であったが、1975 年ころから、通信用端末機器としてこれまでの電話機から IC などの半導体素子を含む高機能電話機やファクシミリ等の多種類の端末機器が用いられるようになり、特に市内配線通信網における雷防護問題が大きくなった。

端末通信機器及び交換機の雷防護対策を適確に行うためのもっとも大きな問題は、第 1 に放射状に張りめぐらされている平衡ケーブル近傍の落雷により平衡ケーブルに誘導された雷サージの頻度や大きさ（電圧や波形）を明確にすることである。第 2 は誘導雷サージの頻度や大きさの分布を基本として通信機器の耐雷試験を行うための標準的なサージ波形を明確にすることである。第 3 には第 1、第 2 の結果に基づいた通信機器の雷防護回路の設計法を明らかにすることである。

第1の問題である平衡ケーブルに生じる誘電雷サージの観測は1961年D. W. Bodle, 1973年E. Bennison, 1979年J. Dutt により報告された。これらの測定に共通な条件として、雷サージデータがある定まったルートで、かつ実際に用いられている平衡ケーブルの末端で観測したものであったため、観測場所やケーブルの使用条件が異なった場合にはそのまま上記のデータを利用してよいかどうか明確でなかった。一方、この疑問を解決しようと大地上に張られたケーブルと大地との間に誘導する雷サージを理論的に説明する研究が1964年大和, 1967年Chowdhuri, 1981年山本によって行われた。これらの理論計算においては大地を完全導体として計算式が導かれていたため、平衡ケーブルに生じる雷サージ特性の大地の影響を把握することができなかった。さらに、計算式は観測されたデータとの対応づけがほとんど行われていないため、計算式などの程度利用できるかどうかははっきりしていなかった。

第2の問題である通信機器の雷サージ試験法としては上記の観測した雷サージの発生分布の確率から定める方法が1961年, D. W. Bodle により示されただけである。この方法は通信機器の雷害と全く関連なしに定めるため、雷サージによる機器の信頼性を定めることができず、不十分な試験法であったが、他のいい案がない状態であった。

第3の問題の通信機器の雷防護回路設計については各通信機器毎の雷防護回路の設計と防護素子そのものの特性向上の研究が非常に多く行われたが、経済性の面から雷防護設計指針を与えたものは少なかった。

本論文においては、以上に述べた従来の通信機器の雷サージ試験法及び雷防護回路設計の不十分、ないしは不備な点を克服するために、新たな雷サージ試験法の提案及び経済化の観点からの雷防護設計指針を示したものであり、さらにこれらの基本となる平衡ケーブルに生じる誘導雷サージの基礎的研究についても行ったものである。

第2章では、雷放電発生現象や落雷によって生じる電界や直撃雷の基本的特性、電力設備の雷防護技術などについて従来の研究経緯を整理し、通信機器の雷サージ防護技術に対する研究の背景および本論文の研究の位置づけを明確にした。

第3章では、第4章及び第5章で詳述する平衡ケーブルの誘導雷サージ特性を検討する上で必要となる雷サージ観測方法と観測装置に必要な仕様を整理して示した。

特に、平衡ケーブルの両端末にとりつけた炭素避雷器の表面についた雷サージ放電痕の面積によって雷サージ電流を推定する方法を開発した。本測定方法は、①極めて小型(4 cm × 1.5 cm)、低価格(数十円/個)な測定装置である、②数十～500 Aの広い範囲にわたり測定可能であり、測定誤差も約50%以下である、などの特徴があり、本論文の雷サージ電流発生分布観測に用いた。

第4章では、平衡ケーブルの誘導雷サージの基本的特性を検討したものであり、ケーブルの種類、ケーブル長、ケーブル高さ、ケーブル端末接地抵抗、分岐ケーブルなどの基本的な架空平衡ケーブルの構成条件に対する雷サージの影響を明らかにした。また、地下平衡ケーブルと架空平衡ケーブルが接続された実際の通信に用いられる状態のケーブルを関東、北陸、九州に設置し、地域による雷サージの影響(大地道電率、夏期雷・冬期雷)を観測により明らかにした。

さらに、上記の観測した誘導雷サージの基本的特性を明確にするために、落雷によって生じる誘

導雷サージの計算式を導いた。

従来では大地を完全導体と仮定し、大地表面に現れる垂直電界 E_z のみを考えていたが、本論文では E_z に加えて、大地が完全導体でもある高さの時の生じる水平電界成分 E_H と大地が有限の導電率の場合にZenneckの表面波の関係式から生じる水平電界 $E_H\sigma$ の3つの成分によってケーブル端末に雷サージが生じるとして計算式を導いている。本論文で示した計算式は、①ケーブルの誘導観測雷サージの性質（ケーブル高さに対する性質、大地導電率に対する特性、ケーブル両端末の雷サージの極性など）をほぼ説明できる、②地下平衡ケーブルの雷サージ特性も同じ方法を拡張して計算できる、等の特徴がある。また、この計算式は観測した雷サージ波形のその他の性質もかなり説明でき、実用的な計算式と推定できる。

これらの結果より、ケーブル構成条件及びケーブル設置の地域に対する誘導雷サージ特性の一般化ができるようになった。

第5章では、日本の平衡ケーブル端末の避雷器の接地と機器の電源部の接地が独立であり外国と異なるため、我国の接地の状態での誘導雷サージ観測を行い、日本の平衡ケーブルの誘導雷サージの発生分布を明らかにした。

加入者用平衡ケーブルの電話局内側端末及び加入者側端末に現れる雷サージの電圧発生頻度、波頭長、波尾長分布、中継用平衡ケーブルの雷サージ電圧発生頻度、波頭長、波尾長分布、加入者用平衡ケーブルの雷サージ電流発生頻度分布を観測値から導いており、日本の通信機器防護設計の基礎データを得た。

第6章では、通信機器の雷サージ試験法を新しく提案したものであり、①標準的な雷サージ試験波形の決定、②雷サージ試験回路の決定を行ったものである。

まず、通信機器は雷サージの電圧によって故障する場合と雷サージエネルギーによって故障する場合があると仮定し、機器がある故障率まで許されると考えた時（許容障害率）雷サージ発生頻度分布と雷サージエネルギー分布からその許容障害率に一致させるように試験用の雷サージ波高値、波頭長、波尾長を定めそれを標準雷サージ試験波形とした。

次に、雷サージ試験回路の内部インピーダンスの決定においては誘導雷サージ波形の持つ主な周波数帯域（0～30 kHz）で等価となるケーブル－大地間のインピーダンスにより定めた。

本雷サージ試験法は次の特徴がある。①通信機器の障害率に対応して試験電圧が変化する。従って、許容障害率を定めた通信機器の試験が機器設計の段階で可能となる。例えば、通信機器の許容障害率を 10^{-3} （回／雷雨日・回線）とすれば、加入者端末に接続する場合の試験波形は電圧20 kV、波頭長20 μ s、波尾長120 μ sとなる。②通信機器の入力インピーダンス（正確には入力抵抗）が変化しても標準雷サージ試験回路から機器に印加する雷サージ試験波形が変化し、実際のケーブルに接続された通信機器と同じ状態で試験できる。なお、ボタン電話機を用いて本試験回路で試験を行った結果とボタン電話機の雷障害実態調査の結果と非常に良く一致し、本試験回路で機器の雷障害推定が可能となることを確認した。また、多重雷サージが通信機器に侵入する場合の補正方法についても参考として示した。

以上の標準雷サージ試験波形および回路は現在CCITTの規格として審議中である。

第7章では、雷サージ電圧、波頭長、波尾長の発生分布を利用して、通信機器の雷防護対策を経

済的にする雷防護設計指針について以下の2つの場合を行った。①まず、通信機器へ侵入する縦雷サージを防護する避雷器の接地抵抗と機器の耐圧との関係を求め、もっとも経済的となる接地抵抗値と機器の耐圧値の例を示した。②日本の各地域に生じる雷サージ電圧の発生避度が異なるため、地域毎に通信機器の雷サージ防護回路を変えて過剰防護をなくすことにより経済化を図ることを提案した。例えば、日本全体の通信機器の耐圧を三段階に分けると機器防護のための価格が約40%減少（許容障害率 10^{-4} fit, 防護回路価格が機器耐圧に比例する場合）することを示した。

以上、本論文では平衡ケーブルの誘導雷サージ特性の明確化を行うとともに通信機器の雷サージ試験法を確立し、さらに通信機器の経済的な雷サージ防護回路設計指針を示した。

しかしながら、落雷現象はまだ不明な部分が多く、さらに誘導雷サージ観測データも不十分であり、観測データ数ならびに地域の障害データ等をつみ重ねることによって本論文のデータの精度の向上を図ってより細かな防護技術を行う必要がある。例えば、CCITT 出版物には、都市と田舎では雷サージ電圧が異なるであろうと記述されているが、その具体的な解明はまだなされていない。また、気象庁の報告している雷雨日数の定め方などにも不十分な面がみられるため、これらの解明、精度向上等を充実させて、さらに優れた誘導雷サージ特性、雷サージ試験法を求めることが必要であろう。

審 査 結 果 の 要 旨

通信網の拡大と通信機器の半導体化の進展に伴い、通信用ケーブルに誘導する雷サージから通信機器を保護する技術の確立は益々重要な課題となっている。しかし、従来は通信機器の耐雷サージ特性やケーブルの布設条件を十分考慮せず、特定の試験波形によって、機器の耐雷サージ試験や保護装置の設計を行っていたため、その効果は必ずしも十分とは言えなかった。

本論文は、通信機器の接続に多く使用されている平衡ケーブルについて、分岐を含む各種の布設条件や端末条件の下で、誘導する雷サージの波形と電圧値を長期にわたる観測から明らかにし、また、これらの統計値を用いた、通信機器の耐雷サージ試験法と耐雷保護装置の設計法を明らかにしたもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論である。ついで第2章では、雷サージによる通信機器の雷害状況と耐雷保護技術に関する従来の研究について述べている。

第3章では、わが国の雷多発地帯に実験用ケーブルを布設したこと、および落雷位置や雷サージ波形の測定装置などの自動化した計測システムについて述べている。

第4章では、実験用と実使用中のケーブルに誘導する雷サージの電圧値と波形を測定した結果について述べている。長期にわたる多くの観測結果から、誘導雷サージ電圧はケーブルの種類や架空高にはほとんど依存せず、またケーブル長が2km以上では長さに依存しないことなどの新しい知見を得ている。

第5章では、雷サージ電圧、波頭長、波尾長などの発生分布を記述する式を与えている。この式には雷雨日数と大地導電率がパラメータとして含まれているため、わが国の広い地域に適用できるものとなっている。これは通信機器の耐雷保護装置の設計に有効に活用できるものである。

第6章では、通信機器の雷障害率が予測できる試験回路と試験波形を与えている。ここで、機器の許容障害率によって試験波形を定めるという方法を新しく提案している。そして、この試験法による推定障害率は実使用中の機器の実際の雷サージによる障害率とよく一致することを明らかにしている。

第7章では、雷サージによる通信機器の障害率に許容値を設定することにより、経済的な耐雷保護装置の設計が可能であることを示している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、従来明確にされていなかった通信用ケーブルに誘導する雷サージの実体が大規模な実験により明らかにし、この結果を通信機器の耐雷保護装置の設計に反映して、その有効性を示したもので、通信工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。